UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE HUMIFIZIERUNGSPROZESSE DER LAUBSTREU IM FREIEN UND UNTER LABORATORIUMSVERHÄLTNISSEN

G. GERE und L. HARGITAI

Tiersystematisches Institut der Eötvös Lorand Universität, Budapest
Lehrstuhl für Bodenkunde der Universität für Gartenbau, Budapest

---

EINLEITUNG

Eine der wichtigsten Nachschubquellen der Humusbereicherung in Waldbeständen bildet das Fallaub. Die Zersetzung der Laubstreu erfolgt auf Grund von äusserst komplizierten chemischen, bodenbiochemischen und bodenbiologischen Wechselbeziehungen. Die Kenntnis dieser Prozesse ist vom theoretischen wie praktischen, d. h. forstwissenschaftlichen Gesichtspunkt aus von grösster Bedeutung. Hinsichtlich der Menge der Laubstreuproduktion verschiedener Waldtypen, sowie über die eigenartigen Zersetzungsprozesse selbst liegen heute verhältnismässig viele Untersuchungen vor (WITTICH, 1942, LOSSAINT, 1953, JÁRÓ, 1958, 1963, WITKAMP und van der DRIFT, 1961; NYKVIST, 1962; VOLZ, 1962; GERE, 1966, 1970; BURGES und RAW, 1967; TSURU, 1967, u. s. w.). Aber auch über die Rolle der Bodentiere bei diesen Zersetzungsprozessen liegen in der einschlägigen Literatur bemerkenswerte Auswertungen vor. (FRANZ und LEITENBERGER, 1948; VAN DER DRIFT, 1949; DUDICH-BALOGH und LOKSA, 1952; GERE, 1956; 1962 *a*, 1962 *b*; DUNGER 1958 *a*, 1958 *b*, 1960, 1964; BALOGH, 1958; EDWARDS und HEATH, 1963, u. s. w.).

Besonders zwei Tatsachen werden in der Literatur hervorgehoben, u. zwar. wird einerseits übereinstimmend festgestellt, dass vom Typ des Waldbestandes und von den Umgebungsverhältnissen abhängend die Menge der Laubstreu und deren Zersetzungsgeschwindigkeit und Zersetzungsweise, sowie der Anteil der verschiedenen Organismengruppen an diesen Prozessen äusserst verschieden sein kann. Andererseits gehen die Meinungen der einzelnen Autoren in der Beurteilung der Rolle der Bodenfauna an den qualitativen und quantitativen Zersetzungsprozessen auseinander.

Diese Überlegungen führten dazu, uns mit nachfolgenden Fragen der Streuzersetzung und Humifizierungsprozesse näher zu befassen. Als Untersuchungsbestand wurde ein solcher Eichenwald (*Quercetum petraeae-cerris*) gewählt, der unter den

speziellen klimatischen Verhältnissen Südost-Mitteleuropas kennzeichnend ist und ausserdem auch über eine grössere Verbreitung verfügt. Ausserdem wurde dieser Bestand auch deswegen schon bevorzugt, weil hier die Streuverhältnisse untersucht (GERE, 1966, 1970), sowie die Rolle der Diplopoden und Isopoden bei der Zersetzung bereits untersucht wurden (GERE, 1962 *a*).

In der vorliegenden Arbeit wurden die Veränderungen des C- und N-Gehaltes der unter natürlichen Verhältnissen sich befindlichen Laubstreu verfolgt, ferner sollten zur Orientierung die während der Zersetzung sich abspielenden Humusqualitätsveränderungen analysiert werden. Da zu diesen Untersuchungen verschieden alte, aber immer noch deutlich erkennbare Laubteile, also von Bodentieren nicht konsumiertes Laub benutzt wurde, unterrichten uns die Ergebnisse unserer Beobachtungen nur über die mikrobiologische Zersetzung, d. h. Humifizierung der Laubstreu. Um auch den Einfluss der Bodenfauna, im näheren den der Diplopoden und Isopoden auf die Zersetzung feststellen zu können, wurden ergänzend auch Untersuchungen unter Laborverhältnissen durchgeführt. In diesen wurden die Humusqualitätsveränderungen der Losungen in gegebener Zeit mit den ähnlichen Prozessen, die sich in der Laubstreu abspielen, verglichen.

METHODE

Im September des Jahres 1965 wurden auf zwei 10 × 10 m grossen Flächen des Waldbestandes das Fallaub entfernt. Nach dem Laubfall wurden im November und im nächsten Jahr im April und November, sowie im April des Jahres 1967 von den beiden Untersuchungsflächen je fünf 25 × 25 cm grosse Laubstreuproben entnommen und zwar so, dass immer nur das nach dem Entfernen direkt gefallene Laub aufgelesen wurde. Auf diese Weise erhielten wir frisches, 1/2, 1, und 1,5 jähriges Fallaub. Das Fallaub wurde im Laboratorium durchgesehen, von Verschmutzungen gereinigt, so dass nur die reinen Blätter zurückblieben. Diese wurden homogenisiert und zu den Untersuchungen vorbereitet.

Um Exkremente zu gewinnen, wurde an Diplopoden und Isopoden aus dem erwähnten Waldbestand unter Laborverhältnissen dunkelbraunes, ein Jahr altes *Quercus petraea* und *Quercus cerris* Fallaub verfüttert. Die Kotballen der Tiere wurden in ausgebrannte Tongefässe von 12 cm Durchmesser gelegt, mit Glasscheiben abgedeckt und in feuchten Sand versenkt. Durch die poröse Wand der Tongefässe wurden die Kotballen stets feuchtgehalten. Auf ähnliche Weise wurde eine gewisse Menge vom selben Laub, welches den Tieren als Futter diente, untergebracht. Beide Versuche wurden unter Zimmertemperatur-Verhältnissen gehalten; ein Teil des Versuches wurde nach einem halben Jahr, der andere Teil nach einem Jahr abgebrochen und chemisch analysiert.

Der C-Gehalt der Proben wurde durch den Glühverlust, der N-Gehalt mit dem Kjeldahl-Verfahren an je vier Parallelproben bestimmt. Angeführt werden die Durchschnittswerte der vier Parallelproben. Auf Grund der erhaltenen Angaben wurde das C : N-Verhältnis berechnet. Sämtliche Angaben beziehen sich auf lufttrockene Substanz.

Bezüglich des Nachweises der Humusqualität wurde ein spezielles Verfahren angewandt. Bei der Anwendung der gewöhnlichen Humusqualitätsuntersuchungen sind die Ergebnisse der Humusqualitäs und-quantitäs-Veränderungen, sowie die Rolle der Bodentiere an diesen Prozessen nicht eindeutig zu werten. Es muss berücksichtigt werden, dass bei solchen Untersuchungen insbesondere bei Exkrementen von kleinen Bodentieren, meistens nur ganz kleine Mengen zur Verfügung stehen. Unser Verfahren eignete sich, wie vorausgehende Untersuchungen erwiesen haben (HARGITAI, 1955, 1957), zur Qualitätsbestimmung roher organischer Substanzen. Auch in verschiedenen mitteleuropäischen Bodentypen liessen sich Prozesse der Humusveränderungen mit dieser Methode nachweisen. Selbst verschiedene bodenbiochemische Veränderungen, die sich in ein und demselben Boden abspielen, können mit diesem Verfahren verfolgt werden (HARGITAI, 1966). Als Vorteil der Methode kann die komplexe Auswertung der Humusqualität betrachtet werden und zwar deswegen, weil anstatt der einfachen Methode das Verfahren mit zwei Lösungsmitteln (1 p. 100 NaF und 0,5 p. 100 NaOH) angewandt, und der Zersetzungsgrad

mit dem Stabilitätskoeffizienten ausgedrückt wird. Dieser kennzeichnet den Grad der Humifizierung viel ausgeprägter als die bisher gebräuchlichen Verfahren. NaF löst die humifizierteren, wertvolleren Humusstoffe, NaOH die roheren, weniger humifizierten organischen Substanzen. Wenn wir die Extinktionen der beiden Auszüge durch den Pulfrich-Photometer bestimmen und die Werte miteinander dividieren erhalten wir die Stabilitätszahl:

$$Q = \frac{E_{NaF}}{E_{NaOH}}$$

Da wir unsere Ergebnisse von der Menge der organischen Substanz gewöhnlich unabhängig werten wollen, müssen wir den oben erhaltenen Wert durch den Gesamthumusgehalt dividieren:

$$K = \frac{Q}{H}$$

Die so erhaltene Zahl ist der Stabilitätskoeffizient, der auf die Veränderungen der Humusqualität äusserst empfindlich reagiert. Aus vorhergehenden Untersuchungen ist erwiesen, dass die niedrigsten Werte bei rohem organischen Ausgangsmaterial, wie Laubstreu u.s.w., erzielt werden und eine Grössenordnung von 0,001 besitzen; die höchsten Werte wurden beim Humus der Tschernosemböden erziehlt und verfügen über die Grössenordnung 10 (HARGITAI 1964). Von den bisher bekannt gewordenen Humusqualitätsbestimmungs-Methoden lassen sich die erzielten Ergebnisse mit diesem Verfahren am besten auswerten, da die Werte der Qualitätsunterschiede gut voneinander abweichen. Ausserdem lassen sich mit diesem Verfahren auch ganz kleine Mengen (0,5 g) gegebenenfalls bestimmen, und dies ist ebenfalls ein Vorteil dieser Methode.

Bei unseren Analysen wurde das zerriebene Untersuchungsmaterial (0,5-10 g) mit einer 10-fachen Lösungsmenge aufgefüllt, kalt geschüttelt, stehen gelassen und nach entsprechender Filtration die Extinktionen der Auszüge bestimmt. Aus den erhaltenen Stabilitätskoeffizienten wurde ein Durchschnittswert errechnet. Aus den Veränderungen der einzelnen Koeffizientenwurde auf die Veränderung der Humusqualität geschlossen.

BESCHREIBUNG DES WALDBESTANDES

Die Untersuchungen erfolgten in Ungarn auf dem Hársbokor-Berg in einem *Quercetum petraeae-cerris (Querceto-Potentilletum albae)* Bestand der Budaer-Berge, der sich in N-ö.-Richtung am Fusse des Berges streifenförmig am seichten Hang hinzieht. Der Bestand ist ungefähr 90 Jahre alt. Der Boden ist ein schwach podsolierter brauner Waldboden. Das Grundgestein ist Dachsteiner-Kalk. Die Laubkrone wird aus Zerreiche (*Quercus cerris*) und Eiche (*Quercus petraea*) gebildet. Die Strauchschicht ist gut entwickelt und besteht hauptsächlich aus *Cornus sanguinea* und *Fraxinus ornus*, letztere hauptsächlich an lichteren Stellen. Der Unterwuchs ist schwach entwickelt, die Streudecke gleichmässig verteilt. Jährlich beträgt das aus der Kronen-und Strauchschicht auf den Boden gelangende Fallaub 2374-3160 kg/ha (in absolutem Trockengewicht ausgedrückt; GERE, 1966). Vom Ende des Laubfalles im Frühjahr gerechnet, zersetzen sich innerhalb eines Jahres 39 p. 100, wiederum nach einem Jahr 87 p. 100 der Gesamtstreumenge, d. h. verlieren ihre Struktur und bilden kleinere Teile als 3 × 3 mm; die noch als Streureste erkennbare Struktur des Fallaubes verschwindet im 3. Jahr vollkommen vom Boden (GERE, 1970).

Auf Grund der Untersuchungen von LOKSA (mündl. Mitteilung) kommen im untersuchten Waldbestand folgende Diplopoden- und Isopodenarten konstant vor: *Chromatoiulus projectus* VERH., *Ophiiulus fallax* MEIN., *Cylindroiulus boleti* C.HOCH, *Leptoiulus proximus* NEMEC., *Polydesmus complanatus* L., *Protracheoniscus amoenus*

C. L. KOCH. (die übrigen Arten sind nur vereinzelt anzutreffen). Ihre Gesamtzahl beträgt 104/m² mit einem Gesamtgewicht von 2,38/m². (GERE, 1962 *a*). Die angeführten Tiere verzehren jährlich 3-4 p. 100 des aus der Kronen- und Strauchschicht stammenden Gesamtfallaubes. (GERE, 1962 *a*). Es muss jedoch erwähnt werden, dass diese Menge etwas kleiner ist als die, die von Diplopoden und Isopoden in den meisten Waldbeständen Ungarns konsumiert wird.

UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE

Der C- und N-Gehalt des vom Untersuchungsort eingesammelten, verschieden alten Fallaubes, sowie das C/N-Verhältnis, wird der angeführten Reihenfolge nach auf Abb. 1, 2 und 3 veranschaulicht. Die Gestaltung des C-Gehaltes der Laubstreu ist im Einklang mit den Untersuchungsergebnissen, die uns bisher bekannt geworden sind. So behauptet auch WITTICH (1943), dass das im Herbst gefallene Laub bis zum

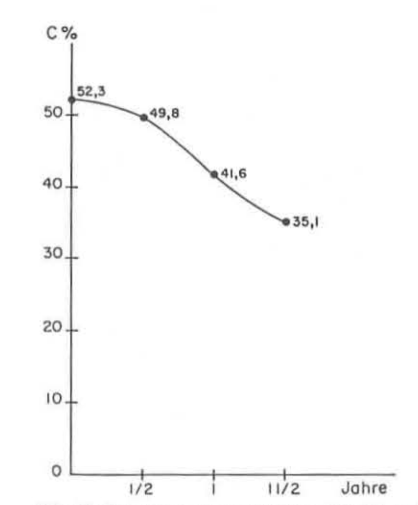


ABB. 1. — *Die Veränderung des C-Gehaltes der Streu im Freien*

Frühjahr keine besonderen Desorganisationsprozesse erleidet. Die durch den Gewichtsverlust deutlich nachweisbaren Zersetzungsprozesse sind Folgen der Aufwärmung im Frühjahr (GERE, 1970). Auf Grund der Untersuchungen von JAGER (1967) lässt sich dem vorausgehendem Frost eine beschleunigende Rolle bei der Zersetzung zuschreiben. Dem Gesagten entsprechend ist der prozentuale C-Gehalt nach dem ersten Winter kaum, später deutlich gesunken. Im zweiten Winter wird die Zersetzung durch die niederen Temperaturen verzögert, gleichzeitig erfolgt jedoch durch die neugefallene Streudecke die Beschleunigung des Prozesses (BURGES und RAW, 1967). Der Umstand muss jedoch berücksichtigt werden, dass je länger das noch laubförmige Fallaub auf dem Boden aufliegt, sich die Zersetzung, von den Veränderungen seiner Konsistenz abhängend, beschleunigt (GERE, 1970). Wie auch aus der Gesamtauswirkung der Faktoren zu erwarten war, verzögert sich die Verrin-

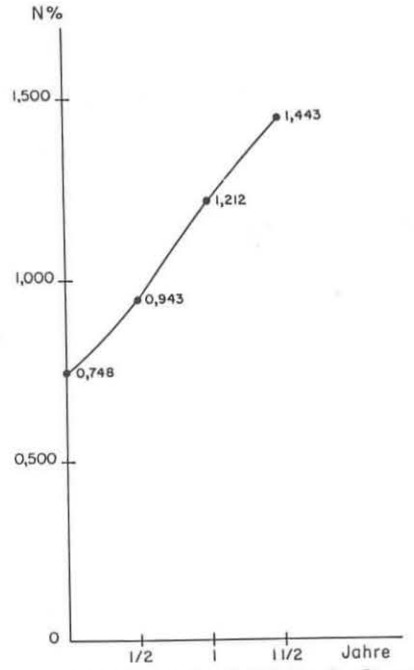


ABB. 2. — *Die Veränderung des N-Gehaltes der Streu im Freien*

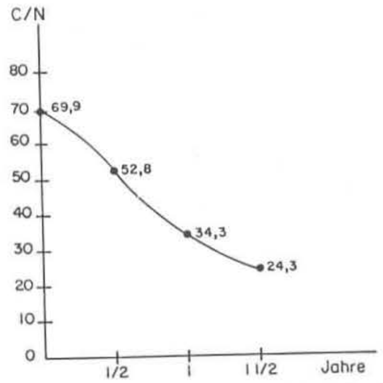


ABB. 3. — *Die Veränderung des C : N-Verhältnisses der Streu im Freien*

gerung des C-Gehaltes im zweiten Winter gegenüber der vorausgehenden wärmeren Periode, ist aber bedeutend intensiver als im ersten Winter.

Der N-Gehalt erwies sich in der untersuchten Streu ziemlich niedrig. Übrigens ist dies bei Eichenblättern eine bekannte Tatsache (DUNGER, 1958 *a* ; JÁRÓ und HORVÁTH, 1959). Ausserdem ist auch der N-Gehalt verschiedener Laubstreuarten äusserst veränderlich (DUNGER, 1958, TSURU, 1967). Der niedere N-Gehalt wird als verzögernder Faktor der Zersetzung betrachtet (WITTICH in : JÁRÓ und HORVÁTH, 1959). In Ungarn und unter ähnlichen klimatischen Verhältnissen wirkt sich dieser Umstand nach JÁRÓ und HORVÁTH (1959) nicht ungünstig aus, da die Gefahr der Rohhumus- und Torfbildung nur auf kleine Gebiete beschränkt ist. Stattdessen ist unter unseren Verhältnissen ein Anhäufen der Humussubstanzen von Vorteil, welcher durch reichen C- und niederen N-Gehalt der langsam sich zersetzenden Arten gesichert wird.

Übrigens steigt, wie aus der Abbildung zu ersehen ist, der prozentuale N-Gehalt der Streu allmählich an und zeigt dabei gewissermassen die jahreszeitlich bedingte Einwirkung. Da das Ausmass der zwischenzeitlichen Gewichtsverminderungen bekannt ist (GERE, 1970), ist die Auslaugung des Stickstoffes, wie festgestellt werden konnte, nach 1,5 Jahren in den ihre Struktur noch nicht verlorenen Laubteilen ganz gering.

Die Veränderung des C : N-Verhältnisses zeigt einen regelmässigen Verlauf. Aus den zeitlichen Veränderungen ist zu ersehen, dass sich die Werte des C : N-Verhältnisses, wenn auch die speziellen Verhältnisse des ersten Halbjahres berücksichtigt werden, am Anfang rascher, später langsamer den beständigeren Humusstoffen nähern.

Die Veränderungen der Humusqualität der vorhergehend erwähnten Streuproben sind aus Abb. 4 ersichtlich. Während des ersten Winters haben sich auch diesbezüglich geringe Veränderungen vollzogen, im späteren verbessert sich jedoch nach und nach die Qualität des Humus.

Die Rolle der saprophagen Bodentiere ist bei der Zersetzung der Laubstreu verschieden. In erster Linie müssen die bei der Verdauung der Nahrung sich abspielenden Veränderungen, die Abbauprozesse erwähnt werden. Nach SCHEFFER und ULRICH (1960) wird den Lumbriciden eine bedeutende Rolle bei den Humifizierungsprozessen zugeschrieben, in den Losungen der Diplopoden und Isopoden lassen sich keine besonderen Veränderungen nachweisen. Der Umstand, dass zwischen dem Gewicht der konsumierten Nahrung und der erzeugten Losung meistens nur minimale Unterschiede bestehen, unterstützt ebenfalls die letztere Feststellung (GERE, 1956). Aus den Untersuchungen von DUNGER (1958 *a*) geht ebenfalls hervor, dass die Nahrung während der Darmpassage keine grossen chemischen Veränderunger leidet, mit der Bemerkung, dass dies aber in grossem Masse von der Qualität der Nahrung abhängt.

Anderseits besteht die Bedeutung der Bodenfauna — besonders die der Makrofauna — bei den Zersetzungsprozessen darin, dass sie durch ihren Frass die Nahmung zerkleinert, so dass sich damit die Nahrungsoberfläche vergrössert und den Bakterien und Pilzen, aber auch den Tieren der Mesofauna leichter zugänglich wird. Diese Tatsache wurde bereits von van der DRIFT (1949), KÜHNELT (1950), DUDICH, BALOGH und LOKSA (1952) und GERE (1956) gleicherweise hervorgehoben.

In Kenntnis der vorher erörterten Feststellungen hielten wir es für das wichtigste, die Veränderungen nachzuweisen, die sich in den Losungen nach der Ablagerung abspielen, und diese mit den Veränderungen zu vergleichen die sich in

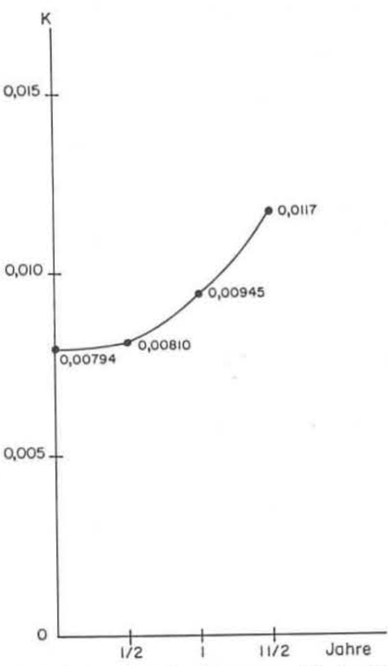


ABB. 4. — *Die Veränderungen der Humusqualität der Streu im Freien durch den Wert des Stabilitätskoeffizienten /K/ ausgedrückt*

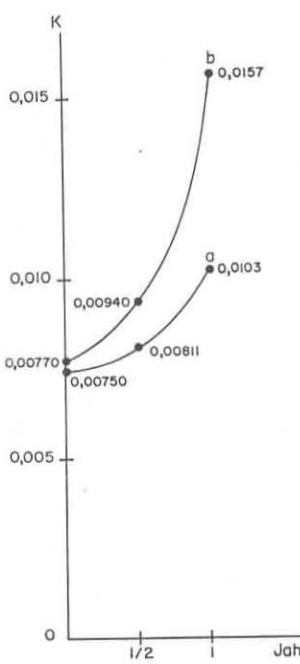


ABB. 5. — *Veränderung der Humusqualität ausgedrückt durch den Wert des Stabilitätskoeffizienten /K/*

a = Streu ; *b* = Kotballen von Diplopoden und Isopoden

der Laubstreu vollziehen. Abb. 5 veranschaulicht die Gestaltung der Humusqualität des unter gleichen Verhältnissen 1/2 bzw. 1 Jahr hindurch gehaltenen Fallaubes und der aus einem Teil von diesem durch Diplopoden und Isopoden erzeugten Kotballen. Die Veränderungen die sich während der Darmpassage vollziehen, wurden bei diesen Beobachtungen nicht untersucht. Diesbezüglich wurde die oben angeführte, von DUNGER (1958 *a*) vertretene Meinung angenommen, nach welcher die Veränderungen während der Darmpassage meistens den Veränderungen entsprechen, die sich im Fallaub während des ersten Winters nach dem Abfall vollziehen. Auf Grund des Gesagten wurde der Ausgangspunkt der Humusqualitätskurve der Losungen im Vergleich zum entsprechendem Punkt der Nahrungskurve um soviel höher als die Veränderung der Humusqualität des auf Abb. 4 veranschaulichten Fallaubes im Laufe des ersten Halbjahres.

Wie aus Abb. 5 zu ersehen ist, ähnelt die die Veränderung der Humusqualität anzeigende Kurve des unter Laborverhältnissen stehenden Laubes derjenigen Kurve, welche die entsprechenden Veränderungen des im Freien sich befindlichen Fallaubes anzeigt; abgesehen von dem auf das erste Halbjahr bezogenen, bereits vorausgehend besprochenen Teiles. Wenn die Veränderung der Humusqualität der Streu mit der aus ihr erzeugten Kotballen verglichen wird, so fällt sofort auf, dass die Veränderungen der Stabilitätskoeffizienten der Losungen während eines Jahres bedeutend grösser sind, als die der Laubstreu. Dies unterstützt die Beobachtung der durch die Frasstätigkeit der Tiere vergrösserten Nahrungsoberfläche und die Wichtigkeit der Wechselbeziehungen zwischen Makro — und Mikroorganismen bei den Zerstzungsprozessen.

SUMMARY

STUDIES ON THE HUMIFICATION OF FOREST LITTER IN FIELD AND LABORATORY CONDITIONS

Changes in the carbon (fig. 1), nitrogen (fig. 2), and the C/N ratio (fig. 3), caused by microbial decomposition in the litter of a *Quercetum petraeae-cerris* forest standing in the Buda Hillo, Hungary, have been followed for one and a half years. Alterations in humus quality was also established by a special method : the material was examined by a measuring method applying a two solution extinction (1 per cent NaF and 0,5 per cent NaOH solutions) in a Pulfrich photometer and then the quotient of the two extinction values calculated. The figure obtained is the stability coefficient (K) whose changes are shown in figure 4. The qualitative effects of the soil fauna, namely those of Diplopods and Isopods, on the humification of the forest litter was studied by feeding themon one year old oak litter. The obtained excrement and a part of the food litter were kept under identical conditions in wet state for one year in the laboratory, and the changes in humus quality of the two substances were compared (fig. 5).

According to the research results, the fallen litter fails to undergo any essential changes in the field during the first winter. In spring and summer, the per cent C content of the litter rapidly decreased. This process slowed down during the second winter, but still remained quicker than during the first one. The N content of the examined forest litter is low. The C : N ratio decreased at a slowing rate during the 1.5 years of investigation, approaching gradually the C : N ratio of the true humus substances, with a constant augmentation of humus quality. According to laboratory results, the K value indicating the humus quality of the excrement changed at a considerably greater rate towards the positive than the corresponding value of the litter wich proves accelerate humifying processes in the excrement.

LITERATUR

BALOGH J., 1958. Lebensgemeinschaften der Landtiere. Akademie-Verlag, Berlin-Verlag der ung. Akad. der Wiss. Budapest.

BURGES A., RAW F., 1967. Soil Biology. Academic Press, London and New York.

DRIFT J. van der, 1949. Analysis of the animal community in a beech forest floor. Ponsen und Looijen, Wageningen.

DUDICH E., BALOGH J., LOKSA I., 1952. Produktionbiologische Untersuchungen über die Arthropoden der Waldböden. *Acta Biol. Hung.* **3**, 295-317.

DUNGER W., 1958 *a*. Über die Veränderung des Fallaubes im Darm von Bodentieren. *Z. Pflanzenern., Düng., Bodenk.* **82**, 174-193.

DUNGER W., 1958 *b*. Über die Zersetzung der Laubstreu durch die Boden-Makrofauna im Auenwald. *Zool. Jb. Syst.* **86**, 129-180.

DUNGER W., 1960. Zu einigen Fragen der Leistung der Bodentiere bei der Umsetzung organischer Substanz. *Zentralbl. Bakteriologie, Parasitenkunde, Infektionskrankheiten und Hygiene*, II. **113**, 345-355.

DUNGER W., 1964. Die Bedeutung der Bodenfauna für die Streuzersetzung. Bedeutung und Möglichkeiten der Faunistik und Ökologie für Landschaftspflege und Naturschutz. Vorträge der Erweiterten Sitzung der Ständigen Kommission für Landschaftspflege und Naturschutz der Deutschen Akademie der Landwirtschaftswissenschaften zu Berlin, am 28. und 29. November 1962, **60**, 99-114.

EDWARDS C. A., HEATH G. W., 1963. The role of soil animals in breakdown of leaf material. In : Soil Organisms, edit. by J. Docksen and J. van der Drift, North Holland Publ. Comp. Amsterdam, 76-84.

FRANZ H., LEITENBERGER L., 1948. Biologisch-chemische Untersuchungen über Humusbildung durch Bodentiere. *Österr. Zool. Z.* **1**, 498-518.

GERE G., 1956. The Examination of the Feeding Biology and the Humificative Function of Diplopoda and Isopoda. *Acta Biol. Hung.* **6**, 257-271.

GERE G., 1962 *a*. Nahrungsverbrauch der Diplopoden und Isopoden in Freilandsuntersuchungen. *Acta Zool. Hung.* **8**, 385-415.

GERE G., 1962 *b*. Ernährungsbiologische Untersuchungen an Diplopoden. *Acta Zool. Hung.* **8**, 25-38.

GERE G., 1966. Feststellung der Gesamtmenge des Fallaubes in den Wäldern Ungarns. *Opusc. Zool.* Budapest **6**, 119-137.

GERE G., 1970. Untersuchungen über den Verlauf der Streuzersetzung in einem ungarischen *Quercetum petraeae-cerris* Waldbestand. *Pedobiologia* (im Druck).

HARGITAI L., 1955. Összehasonlitó szervesanyag-vizsgálatok különbözö talajtipusokon optikai módszerekkel. *Agr. Tud. Egy. Agr. Kar Kiadványai*, Budapest **2**, 1-27.

HARGITAI L., 1957. Néhány tényezö hatasa a talajok szervesanyagaira/Der Einfluss einiger Faktoren auf die organischen Stoffe der Böden. *Agr. Tud. Egy. Agr. Kar Kiadványai*, Budapest **4**, 1-19.

HARGITAI L., 1964. A különbözö talajtipusok humuszminöségének egységes jellemzése talajgenetikai szempontból, Uniform Characterization of the Humus-quality of Different Soil Types from the Soil-Genetical point of View. *Kisérletügyi Közlemények-Növénytermesztés* **57**, 115-125.

HARGITAI L., 1966. Proceedings of the VIth annual meeting of biochemistry, Budapest. Edited by Biochemical section of the Hungarian Chemical Society, 293-308.

JAGER G., 1967. Changes in the activity of soil microorganisms influenced by physical factors drying-remoistening, freezing-thawing. In : Progress in Soil Biology, edited by O. Graff and J. E. Satchell, Verlag Friedr. Vieweg and Sohn-North. Holland Publ. Comp. Braunschweig-Amsterdam, 178-191.

JÁRÓ Z., 1958. Alommennyiségek a magyar erdö egyes tipusaiban Streumengen in den ungarischen Wäldern. *Erdészettudományi Kozleményeä* **1**, 151-162.

JÁRÓ Z., 1963. A lomb bomlása különbözö állományok alatt/Die Zersetzung der Streu unter verschiedenen Beständen. *Erdészeti Kutatások*, **10**, 95-106.

JÁRÓ Z., HORVÁTH E., 1959. Tápanyagkörforgalom a magyar erdök egyes tipusaiban (Nahrstoffkreislauf in einigen Typen der ungarischen Wälder). *Erdészeti Kutatások*, **6**, 231-246.

KÜHNELT W., 1950. Bodenbiologie. Verlag Herold, Wien.

LOSSAINT P., 1953. Influence de la composition chimique de litières forestières sur leur vitesse de décomposition. *C. R. Acad. Sci.* Paris, **236**, 522-524.

NYKVIST N., 1962. Leaching and Decomposition of Litter. V. Experiments of Leaf Litter of *Alnus glutinosa, Fagus silvatica* and *Quercus robur*. *Oikos* **13**, 232-248.

SCHEFFER F., ULRICH B., 1960. Lehrbuch der Agrikulturchemie u. Bodenkunde. III. Teil : Humus und Humusdüngung. F. Enke, Stuttgart.

TSURU S., 1967. On studies of the microbial decomposition of various litters and humus formation in volcanic soils. In : Progress in Soil Biology, edited by O. Graff and J. E. Satchell, Verlag Friedr. Vieweg and Sohn, North. Holland Publ. Comp. Braunschweig, Amsterdam, 455-463.

VOLZ P., 1962. Beiträge zu einer pedozoologischen Standortslehre. *Pedobiologia*, **1**, 242-290.

WITKAMP M., Van Der DRIFT J., 1961. Breakdown of forest litter in relation to environmental factors. *Plant and Soil*, **15**, 295-311.

WITTICH W., 1943. Untersuchungen über den Verlauf der Strenzersetzung auf einem Boden mit Mullzustand II. *Forstarchiv*, **19**, 1-18.